



①9 **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**  
⑩ **DE 199 50 111 C 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 01 K 11/32**  
G 01 F 1/68  
G 02 B 6/44

②① Aktenzeichen: 199 50 111.4-52  
②② Anmeldetag: 18. 10. 1999  
④③ Offenlegungstag: -  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 15. 2. 2001

**DE 199 50 111 C 1**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑥⑥ Innere Priorität:  
199 45 149. 4      21. 09. 1999

⑦③ Patentinhaber:  
GESO Gesellschaft für Sensorik, geotechnischen  
Umweltschutz und mathematische Modellierung  
mbH, 07749 Jena, DE

⑦④ Vertreter:  
Meissner, Bolte & Partner, 80538 München

⑥① Zusatz in: 100 52 922.4

⑦② Erfinder:  
Großwig, Stephan, Dr., 07749 Jena, DE; Hurtig,  
Eckart, Prof. Dr., 14480 Potsdam, DE; Kuka, Georg,  
Dr., 12555 Berlin, DE; Trostel, Andre, 99423 Weimar,  
DE

⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 41 27 646 C2  
DE 196 21 797 A1  
DE 298 21 223 U1  
DE 93 18 404 U1

⑤④ **Sensorkabel für faseroptische Temperaturmessungen**

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Sensorkabel für faseroptische  
Temperaturmessungen, insbesondere zur Bestimmung  
von durch Fluidbewegungen verursachten Temperatur-  
feldern oder Temperaturanomalien. Das vorgestellte Hy-  
bridkabel weist innerhalb der Kabelseele mindestens  
eine, eine oder mehrere Lichtwellenleiter-Fasern aufwei-  
sende Bündelader sowie der Bündelader eng benachbart  
mindestens eine elektrische Heizleitung oder eine ein  
Kühlmedium führende Leitung auf, wobei die Hohlräume  
der Kabelseele verfüllt sind und die Kabelseele von einer  
Bewicklungsfolie umgeben ist.

**DE 199 50 111 C 1**

Die Erfindung betrifft ein Sensorkabel für faseroptische Temperaturmessungen, insbesondere zur Bestimmung von durch Fluidbewegungen, d. h. von durch Flüssigkeiten und/oder Gasen verursachten Temperaturfeldern oder Temperaturanomalien, umfassend mindestens eine Zugentlastung, eine Kabelseele mit Lichtwellenleiter sowie eine Armierung gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Aus dem deutschen Gebrauchsmuster DE 93 18 404 U1 ist eine Einrichtung zum Bestimmen von Temperaturen unter Zuhilfenahme von faseroptischen Lichtwellenleitern bekannt. Dabei wird die Temperaturabhängigkeit der Rückstreuung in Lichtwellenleitern ausgenutzt und gemäß dortiger Lehre zur Überwachung der Temperaturentwicklung in Deponien verwendet. Nach DE 93 18 404 U1 können als flächiges Gebilde in Mäanderform angeordnete Lichtwellenleiter, aber auch in Schneckenform oder dergleichen überkreuzt angeordnete Lichtwellenleiter zum Einsatz.

Das Verfahren zur faseroptischen Temperaturmessung ist seit Anfang der 80er Jahre bekannt und geht auf eine Entwicklung der Universität Southampton, Großbritannien, zurück. Dieses Verfahren basiert auf der Optical Time Domain Reflectometry (OTDR)-Methode. Hier wird das Licht eines Impulslasers in einen Lichtwellenleiter eingekoppelt. Bei der Ausbreitung des Laserlichtimpulses wird das Licht an den Molekülen des Lichtwellenleiters gestreut. Die Intensität und die spektrale Zusammensetzung des Streulichts werden durch die Moleküle im Lichtwellenleiter und deren Verhalten bestimmt. Das rückgestreute Licht wird mit Hilfe eines Richtungskopplers aus dem Lichtwellenleiter ausgekoppelt und detektiert. Im Idealfall, d. h. bei einem homogenen Lichtwellenleiter, zeigt die Intensität des Rückstreulichts einen exponentiellen Abfall mit der Zeit. Mit Hilfe der bekannten Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes im Lichtwellenleiter kann aus dem zeitlichen Verlauf der Intensität des Rückstreulichts der vom Licht zurückgelegte Weg berechnet werden. Damit ist eine genaue Bestimmung der Lage von Gebieten mit veränderter Rückstreuintensität möglich.

Das rückgestreute Licht setzt sich aus verschiedenen spektralen Anteilen zusammen, die durch unterschiedliche Mechanismen der Wechselwirkung zwischen dem Laserlicht und dem Lichtwellenleiter-Baustein hervorgerufen werden. Die Rayleigh-Rückstreukomponente, die die gleiche Wellenlänge wie der in den Lichtwellenleiter eingekoppelte Primärlaserimpuls hat, liefert den größten Peak im Streulichtspektrum und bestimmt dadurch wesentlich den exponentiellen Abfall der Intensitäts-Zeit-Kurve des Rückstreulichts. Da Inhomogenitäten im Lichtwellenleiter, Risse, Spleißverbindungen oder ähnliche Sachverhalte eine Intensitätsveränderung in der Rayleigh-Rückstreukomponente bewirken, wird diese Komponente des Streulichtspektrums zur Qualitätskontrolle von Lichtwellenleitern, aber auch zur Fehlerortung verwendet. Die Rayleigh-Rückstreukomponente ist aufgrund ihres Entstehungsmechanismus praktisch unabhängig von Temperatureinflüssen.

Die Phonon-Photon-Wechselwirkung des Laserlichts, d. h. die Wechselwirkung des Laserlichts mit den thermisch induzierten Gitterschwingungen im Lichtwellenleiter, ist die Ursache für das Raman-Rückstreulicht, dessen Intensität demzufolge von der Temperatur abhängt. Der Lichtwellenleiter wird dadurch selbst zum sensitiven Element. Aufgrund seines Entstehungsmechanismus setzt sich das Raman-Streulicht aus zwei Komponenten, der Stokes-Linie und der Anti-Stokes-Linie zusammen. Diese Spektrallinien liegen, um eine bestimmte Wellenzahl verschoben, symmetrisch zum Peak der Rayleigh-Linie. Während die Stokes-

Linie in erster Näherung temperaturabhängig ist, zeigt die Intensität der kürzer periodischen Anti-Stokes-Linie eine ausgeprägte Temperaturabhängigkeit. Bei dem faseroptischen Meßprinzip wird also aus dem Streulichtspektrum ein Herausfiltern der beiden Komponenten des Raman-Streulichts vorgenommen. Durch eine Verhältnisbildung der Intensitäten der beiden Linien werden alle Einflüsse, die auf Veränderungen der Lichtquelle oder anderer äußerer Einwirkungen auf den Lichtwellenleiter zurückzuführen sind, mit Ausnahme der Temperatur eliminiert.

In Analogie zum Radarprinzip wird das Laserlicht als kurzer Lichtimpuls mit einer Impulsdauer von ca. 10 ns in den Lichtwellenleiter eingekoppelt und die Intensitäten der Stokes- und der Anti-Stokes-Linie des Raman-Streulichts zeitaufgelöst registriert. Durch die Auswertung des Intensitätsverhältnisses von Anti-Stokes- und Stokes-Linie wird die Temperatur eines kleinen Lichtwellenleiter-Abschnitts bestimmt, während die zugehörige Ortskoordinate aus der entsprechenden Laufzeit des rückgestreuten Lichtimpulses ermittelt wird. Die Temperatur kann entlang der optischen Faser mit einer hohen geometrischen Auflösung gemessen werden, wobei die optische Faser selbst wie dargestellt der Temperatursensor ist.

Die Faserlänge kann mehrere Kilometer betragen, so daß auch eine engmaschige flächenhafte oder räumliche Verlegung des optischen Kabels möglich ist.

Aus: Geothermische Energie; Mitteilungsblatt der Geothermischen Vereinigung e. V., Nr. 18, 5. Jg., März 1997, ist der Einsatz faseroptischer Temperaturmessungen zur Erfassung und Überwachung des Temperaturfelds an Erdwärmesonden bekannt. Demnach ist es möglich, mit hoher Ortsauflösung die zeitliche Entwicklung des Temperaturfelds unmittelbar an einer Erdwärmesonde sowie innerhalb und der Umgebung eines Erdwärmesondenfelds zu erfassen und zu überwachen. Bei der bekannten Anordnung wurden an bis zu einer Tiefe von 200 m abgeteufte Bohrungen eines Erdwärmespeichers faseroptische Meßkabel als äußere Meßschleife an einer um die unverrohrte Bohrung eingebrachte Duplex-Erdwärmesonde angeordnet. Hierdurch besteht die Möglichkeit, das Temperaturfeld in der Umgebung des Abwärtsstroms und des Aufwärtsstroms getrennt zu erfassen. Aus den Messungen wurde deutlich, daß die zeitliche Entwicklung der Temperatur bei der Wärmeabspiegelung in wenigen Stunden abfällt und einen charakteristischen Verlauf mit deutlichen Anomalien annimmt.

Aus den Messungen konnte erkannt werden, daß die Auskühlung der wassergesättigten porösen Schichten sehr langsam verläuft, während sich im Bereich von Schluff- und Tonschichten schnell ein Kühlmantel bildet. Bei der Wärmeinspeisung treten die gleichen systematischen Effekte wie bei der Wärmeleitfähigkeit auf. Die Sande haben daher folglich eine wesentlich größere effektive Wärmeleitfähigkeit, wobei hierunter die Summe aus konduktivem und advektivem bzw. konvektivem Wärmetransport verstanden wird.

Bei der Meßanordnung zur Überwachung des Temperaturfelds an Erdwärmesensoren wurde ein gemeinsamer Mechanismus festgestellt dergestalt, daß bezogen auf die Gleichgewichtstemperatur, nämlich die Gebirgstemperatur, sich die Temperatur in der unmittelbaren Umgebung der Erdwärmesondenschläuche bei der Wärmeinspeisung um bis zu 8° oder 9° erhöht und bei der Ausspeisung um ca. 6° erniedrigt.

In inpermeablen Schichten mit niedrigen Wärmeleitfähigkeitswerten bildet sich ein Kühlmantel aus, da durch die reine Wärmeleitung, d. h. Konduktion nicht genügend Wärme nachgeliefert werden kann. In porösen, wassergesättigten Schichten wird in der unmittelbaren Umgebung um

die Erdwärmesonde das Porenwasser abgekühlt. Die Geringsttemperatur ist höher, so daß sich in der porösen Schicht in unmittelbarer Umgebung der Erdwärmesonde zunächst kleinräumige Konvektionszellen bilden können, über die Wärme zu der Wärmesenke an der Erdwärmesonde transportiert wird. Dadurch sinkt die Temperatur nicht so stark ab wie in den impermeablen Schichten, und es bildet sich ein Temperaturmaximum aus. Mit anderen Worten konnten durch den Heiz- bzw. Kühleffekt beim Ein- und Ausspeisen von Wärme die Eigenschaften hinsichtlich Wärmetransport der umgebenden Schichten bestimmt werden, obwohl ein advektiver Wärmetransport durch fließendes Grundwasser nicht oder nur mit geringer Grundwasserströmung vorhanden war.

Von der Anmelderin wurde weiterhin vorgeschlagen, faseroptische Laserradar-Temperaturmessungen zur Erfassung und zum Nachweis von Zuflußzonen in Feldfugen von Talsperren oder ähnlichen Wassersperrbauwerken durchzuführen.

Dabei wurde davon ausgegangen, daß im Falle einer Leckage durch Undichtigkeiten am Feldfugenblech einer Talsperre die Temperatur-Teufen-Verteilung in der Feldfuge im Bereich der Zuflußzone eine Unstetigkeitsstelle aufweist. Eine entsprechende Genauigkeit der Temperaturentlastung zum Bestimmen derartiger Leckagen im Bereich von mindestens  $0,1^\circ\text{K}$  ist hierfür erforderlich. Die Messung der Temperatur-Teufen-Verteilung in Feldfugen mit konvektionellen Temperatursonden, so wurde festgestellt, birgt die Gefahr, daß es bei dem teilweise sehr geringen lichten Durchmesser der Fugen, der stellenweise nur unwesentlich größer als der Durchmesser der eingesetzten Temperaturmeßsonde ist, zu Verwirbelungen in der Feldfuge und damit zu deutlichen Störungen des zu messenden Temperaturprofils kommen kann. Indikationen hierfür sind Unterschiede zwischen den beim Ablassen und den beim Aufholen der Sonde gemessenen Temperaturwerten. Weiterhin ist im Fall geringerer Durchströmungsgeschwindigkeiten des fluiden Mediums in der Fuge es sehr erschwert, unter Berücksichtigung vertretbarer Meßzeiten und Tagesgang-Temperaturverläufen Leckagen schnell und sicher zu ermitteln. Darüber hinaus wurde bei den Feldversuchen ein exaktes Einmessen der Meßkabel durch dort befestigte Heizschleifen, die am Meßkabel befestigt waren, erreicht.

Aus dem deutschen Gebrauchsmuster DE 298 21 223 U1 ist eine Vorrichtung zur Messung von Fluidbewegungen mittels Lichtwellenleiter bekannt, wobei gemäß dortiger Lehre Mittel zur zumindest zeitweisen Zufuhr von Wärme zum Lichtwellenleiter oder Mittel zum zumindest zeitweisen Entzug von Wärme vom Lichtwellenleiter vorgesehen sind. Diese Mittel sollen eine oder mehrere elektrische Leiter umfassen, die den Wärmeaustausch mit dem Lichtwellenleiter sicherstellen. Mit der im genannten Gebrauchsmuster beschriebenen Lösung soll die erforderliche Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur des strömenden und/oder sichernden Fluids und der Temperatur des Mediums in der Umgebung des Lichtwellenleiters erreicht werden. Mit Hilfe des dort gezeigten elektrischen Heizleiters, der zu einem indirekten Wärmeaustausch mit dem Lichtwellenleiter führt, erwärmt sich letzterer. Die Heizleiter können um den Lichtwellenleiter angeordnet sein, d. h. ihn umschließen oder ihn in Art einer Wicklung oder als Geflecht umgeben oder im wesentlichen parallel zum Lichtwellenleiter verlaufen. Als besonders vorteilhafte Lösung wird gemäß DE 298 21 223 U1 herausgestellt, das metallische Schutzgeflecht von Glasfaserkabeln als elektrischen Leiter zur Erwärmung zu benutzen. Hier soll die Schutzumhüllung eine Doppelfunktion ausüben.

Zurückgehend auf umfangreiche Untersuchungen der

Anmelderin hat sich jedoch gezeigt, daß die im Gebrauchsmuster DE 298 21 223 U1 vorgestellte Lösung der Zuführung von Wärme quasi von außen gerichtet hinein in ein in üblicher Weise vorkonfektioniertes Sensorkabel insofern von Nachteil ist, daß primär die Umgebung, nicht jedoch das eigentliche Sensorkabel, nämlich die Lichtwellenleiter-Fasern, mit thermischer Energie beaufschlagt und damit geheizt bzw. gekühlt werden. So entstehen bei Aufheizung des Lichtwellenleiter-Sensorkabels quasi thermische, mantelförmige Schutzzonen, die erst dann von einem fluiden, strömenden Medium mit dem Nachweis einer Temperaturanomalie durchbrochen werden, wenn dieses Medium über eine ausreichende Wärmetransportkapazität verfügt. Demnach führt das vorgeschlagene Heizen, aber auch Kühlen durch die Auswirkung auf die unmittelbare Umgebung zu einer reduzierten Meß- und damit Nachweispemflichkeit faseroptischer Laserradar-Temperaturmessungen.

Die DE 196 21 797 A1 zeigt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Leckageüberwachung an Objekten und Bauwerken. Mittels passiver Temperatursensoren in Form eines oder mehrerer Lichtwellenleiter soll im Fall einer Leckage das Leck durch Ermitteln der Temperaturänderungen im Bereich der Leckage erfaßt werden. Die Lichtwellenleiter werden im wesentlichen schlaufenförmig mit vertikal verlaufenden Schlaufenästen in Hydraulikleitungen, in Hohlrohren oder in Schläuchen, aber auch in durch ein Horizontalbohrverfahren verlegten Rohren angeordnet. Voraussetzung für eine erfolgreiche Leckageüberwachung ist jedoch ein ausreichender Temperaturunterschied zwischen dem fluiden Medium und der jeweiligen Umgebung.

Eine ähnliche Lösung zeigt das Verfahren und die zugehörige Vorrichtung zur Bestimmung thermischer Parameter nach DE 41 27 646 C2.

Dort ist ein Hohlgestänge in den Boden eingebracht, wobei mehrere in einer Sensorkette angeordnete Sensoren in das Hohlgestänge eingesetzt werden. Die in einer Sensorkette angeordneten Sensoren sollen eine quasi kompakte Meßsonde bilden, wobei der Sondenkörper zusätzlich einen Heizdraht aufweist. Der Heizdraht dient einer gezielten Erwärmung der Meßsonde, um hierdurch eine Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit des umgebenden Bodens durchführen zu können. Dabei wird die Erkenntnis genutzt, daß der Anstieg der Temperatur in der Sonde proportional zur Wärme- bzw. Temperaturleitfähigkeit des erwähnten, die Meßanordnung umgebenden Bodens ist.

Aus dem Vorgenannten ist es Aufgabe der Erfindung, ein Sensorkabel für faseroptische Temperaturmessungen, insbesondere zur Bestimmung von durch Fluidbewegungen verursachten Temperaturfeldern oder Temperaturanomalien anzugeben, das eine energetische Optimierung durch spezielle Anordnung einer elektrischen Heizleitung oder einer ein Kühlmedium führenden Leitung ermöglicht, so daß sich kein thermischer, störender quasi Schutzmantel außerhalb des Sensorkabels, d. h. zum umgebenden Medium aufbaut.

Die Lösung der Aufgabe der Erfindung erfolgt mit einem Sensorkabel gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1, wobei die Unteransprüche mindestens zweckmäßige Ausgestaltungen und Weiterbildungen darstellen.

Erfindungsgemäß ist innerhalb der Kabelseele des Sensorkabels mindestens eine, eine oder mehrere Lichtwellenleiter-Fasern aufweisende Bündelader sowie der Bündelader eng benachbart mindestens eine elektrische Heizleitung oder eine ein Kühlmedium führende Leitung angeordnet. Weiterhin sind die Hohlräume der Kabelseele verfüllt und die Kabelseele von einer Bewicklungsfolie umgeben. Durch letztgenannte Maßnahmen wird sichergestellt, daß bedingt durch Heizen oder Kühlen ansonsten auftretender thermischer Stress von den einen sehr geringen Nenndurchmesser

aufweisenden Lichtwellenleiter-Fasern ferngehalten wird, andererseits aber eine enge thermische Kopplung vorhanden ist.

Die Kabelseele kann zwei bis sechs Bündeladern und einen bis vier elektrische Heizleiter aufweisen, wobei diese um eine zentral angeordnete, vorzugsweise nichtmetallische Zugentlastung verseilt angeordnet sind.

Die Bündeladern sind als gefüllte Hohladern ausgebildet und weisen eine bis zwölf Lichtwellenleiter-Fasern auf. Die Bündelader besteht aus einem thermoplastischen Material und ist mit einer thixotropen Masse gefüllt.

Durch die im Inneren der Kabelseele angeordneten elektrischen Heizleiter mit einem definierten Widerstand je Meter bzw. Kilometer Kabellänge gelingt es mit geringer elektrischer Energie, ein ausreichendes und nennenswertes Aufheizen der Bündelader sicherzustellen, ohne daß bei den üblicherweise eingesetzten großen Kabellängen die Masse des Kabels unverträglich hoch ansteigt.

Die erwähnte Bewicklung, welche die Kabelseele umfassend die Bündeladern und Heizleitungen umgibt, besteht aus einem Kunststoffmaterial und ist von einer peripheren Zugentlastung umgeben.

Zwischen einem Kunststoff-Innenmantel und einem Kunststoff-Außenmantel ist eine Armierung in Form eines kunststoffbeschichteten, vorzugsweise verchromten Stahlbands vorgesehen. Das Stahlband ist längslaufend mit geeigneter Überlappung aufgebracht und bevorzugt geriffelt.

Durch die beschriebene Sensorkabelform sind ausreichende Zugfestigkeiten sowie Belastungswerte in Sachen Querdruk, Schlag und wiederholte Biegung gegeben. Die Materialauswahl in Verbindung mit den Füllstoffen sichert eine ausreichende Temperaturwechsel-Beständigkeit bei gegebener Längswasserdichtigkeit.

Bei einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Sensorkabels ist die elektrische Heizleitung oder die das Kühlmedium führende Leitung im wesentlich zentrisch, d. h. mittig in der Kabellängsseele verlaufend angeordnet.

Die vorstehenden Ausführungsformen des Sensorkabels gewährleisten einen unmittelbaren schnellen und direkten Wärmeübergang zwischen Heizleitung bzw. der ein Kühlmedium führenden Leitung zum sensitiven Lichtwellenleiter, der sich in der Bündelader bzw. den mehreren Bündeladern befindet. Die optimierte Möglichkeit des Beheizens oder Kühlens des für die Erfassung thermischer Anomalien maßgeblichen Lichtwellenleiters gestattet es, mit hoher Präzision auch sehr langsam verlaufende, eine geringe Wärmetransportkapazität besitzende Strömungen bzw. Fluidbewegungen zu erfassen.

Die geringe Wärmekapazität der Gesamtanordnung des Kabels ermöglicht einen nahezu Pulsbetrieb, d. h. es sind kurze Zyklen zwischen Aufheizen und Abkühlen erreichbar.

Beim Einsatz des erfindungsgemäßen Sensorkabels besteht die Möglichkeit, durch gezielte, im Kabel ausgebildete Wärmebrücken oder Bereiche erhöhter Wärmeübergangswiderstände künstliche Temperaturpeaks zu erzeugen, die zu Eichzwecken bzw. zum Erfassen der momentanen Aufheiztemperatur ohne Einsatz weiterer, diskreter Sensoren genutzt werden können.

Dadurch, daß die elektrische Heizleitung im Inneren des Sensorkabels befindlich ist, können die ansonsten vorgesehenen Armierungs- und Schutzummantelungen auch gleichzeitig zum Schutz des Heizleiters vor Beschädigung genutzt werden, ohne daß sich der Außenumfang des Kabels unerwünscht erhöht.

Die Erfindung soll nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels und unter Zuhilfenahme von Figuren näher erläutert werden.

Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine nichtmaßstäbliche Prinzipdarstellung eines Querschnitts einer ersten Ausführungsform des Sensorkabels mit zentraler Zugentlastung sowie

Fig. 2 eine nichtmaßstäbliche Darstellung eines Querschnitts eines Sensorkabels mit zentrisch angeordnetem elektrischen Heizleiter.

Das Sensorkabel gemäß Fig. 1 und erstem Ausführungsbeispiel besitzt eine zentrale Zugentlastung 1, z. B. aus Glasfaserkunststoff. Diese zentrale Zugentlastung 1 ist von Bündeladern 2, beim gezeigten Beispiel vier Bündeladern 2, umgeben.

Die Bündeladern 2 stellen eine aus einem thermoplastischen Material bestehende, mit thixotroper Masse gefüllte Hohlader dar, die mindestens eine Lichtwellenleiter-Faser 2.1 im Inneren enthält.

Den Bündeladern 2 benachbart und ebenfalls die zentrale Zugentlastung 1 umgebend sind beim gezeigten ersten Beispiel zwei Heizleitungen 3 angeordnet. Die Heizleitungen besitzen einen elektrischen Widerstand von z. B. 5 Ohm je km.

Die Kabelseele 4 wird nun aus den vier Bündeladern 2 und den zwei Heizleitungen 3 durch entsprechendes Verseilen um das Zentralelement bzw. die zentrale Zugentlastung 1 erstellt. Die verbleibenden Hohlräume der Kabelseele 4 sind mit einer Kabelfüllmasse verfüllt.

Die Kabelseele 4 ist von einer Kunststoff-Folie umgeben, die als Bewicklung 5 wirkt.

Außerhalb der Bewicklung 5 ist eine periphere Zugentlastung 6, beispielsweise bestehend aus Aramid, vorhanden. An diese periphere Zugentlastung 6 schließt sich ein Innenmantel 7, z. B. aus PE an.

Der Innenmantel 7 ist wiederum von einer Armierung 8 und diese von einem Außenmantel 9 umgeben.

Die Armierung 8 besteht aus einem kunststoffbeschichteten verchromten Stahlband, welches geriffelt ist. Das Stahlband ist längslaufend mit geeigneter Überlappung aufgebracht und besitzt eine Nennwanddicke von im wesentlichen 0,15 mm.

Das beschriebene erste Ausführungsbeispiel gestattet es, Sensorkabel mit einem Außendurchmesser im Bereich von 15 bis 16 mm bei einem Kabelgewicht von  $\leq 320$  kg/km bereitzustellen. Der minimale Biegeradius während der Installation liegt im Bereich des 15- bis 20-fachen des äußeren Kabeldurchmessers. Außerordentlich geringe Dämpfungseigenschaften zwischen 0,6 und 2,5 dB/km je nach Wellenlänge gestatten das Betreiben mit Impulslasern geringer Energien bzw. den Aufbau langer Meßstrecken. Die Temperaturwechselbeständigkeit liegt bei den gewählten Materialien im Bereich von  $-25^{\circ}\text{C}$  bis  $+70^{\circ}\text{C}$ . Die Zugfestigkeit erreicht Werte zwischen 3200 und 3500 N.

Bei dem in Fig. 2 gezeigten zweiten Ausführungsbeispiel sind der oder die Heizleiter quasi im Mittelpunkt, d. h. zentrisch des Kabels verlaufend angeordnet und von den Bündeladern 2, enthaltend die Lichtwellenleiter-Fasern, umgeben. Bei diesem Ausführungsbeispiel kann die Zugentlastung 1 verseilt sein oder es besteht die Möglichkeit, eine entsprechend stärkere periphere Zugentlastung 6 auszubilden.

Mit dem vorgestellten Sensorkabel können Untersuchungen auch dort vorgenommen werden, wo nur geringe Temperaturunterschiede zwischen der Bodentemperatur in nicht oder nur gering durchströmten Böden und der Grundwasser- oder Gewässertemperatur bestehen. Die vorgeschlagene Konstruktion dient primär dem Aufheizen des Lichtwellenleiters im Verbundkabel und nicht dem Erhitzen des gesamten Kabels, da es für die Messungen im wesentlichen darauf ankommt, die thermischen Anomalien zwischen den Lichtwellenleiter-Fasern und der Umgebung, z. B. bedingt durch

stärken Wärmetransport bei vorhandenen Leckagen oder  
leckagebedingten Strömungen zu erfassen.

#### Bezugszeichenliste

1 Zugentlastung	5
2 Bündelader	
2.1 Lichtwellenleiter-Faser	
3 Heizleitung	
4 Kabelseele	10
5 Bewicklung	
6 periphere Zugentlastung	
7 Innenmantel	
8 Armierung	
9 Außenmantel	15

#### Patentansprüche

1. Sensorkabel für faseroptische Temperaturmessungen, insbesondere zur Bestimmung von durch Fluidbewegungen, d. h. von durch Flüssigkeiten und/oder Gasen verursachten Temperaturfeldern oder Temperaturanomalien, umfassend mindestens eine Zugentlastung, eine Kabelseele mit Lichtwellenleiter sowie eine Armierung, **dadurch gekennzeichnet**, daß innerhalb der Kabelseele mindestens eine, eine oder mehrere Lichtwellenleiter-Fasern aufweise Bündelader sowie der Bündelader eng benachbart mindestens eine elektrische Heizleitung oder eine ein Kühlmedium führende Leitung angeordnet ist, wobei die Hohlräume der Kabelseele verfüllt sind und die Kabelseele von einer Umhüllung umgeben ist. 20
2. Sensorkabel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kabelseele zwei bis sechs Bündeladern und eine bis vier elektrische Heizleitungen aufweist, wobei diese um eine zentral angeordnete Zugentlastung verseilt angeordnet sind. 25
3. Sensorkabel nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Bündelader(n) als gefüllte Hohlader mit einer bis zwölf Lichtwellenleiter-Fasern ausgebildet ist (sind). 30
4. Sensorkabel nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Füllstoff eine thixotrope Masse ist. 35
5. Sensorkabel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Umhüllung eine Bewicklungsfolie aus Kunststoff ist. 40
6. Sensorkabel nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine periphere Zugentlastung die Kabelseele und/oder die Bewicklungsfolie außen umgibt. 45
7. Sensorkabel nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Armierung zwischen einem Kunststoff-Innenmantel und einem Kunststoff-Außenmantel befindlich ist und aus einem beschichteten, längslaufend überlappenden Stahlband besteht. 50
8. Sensorkabel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Heizleitung oder die das Kühlmedium führende Leitung im wesentlichen zentrisch in der Kabelseele angeordnet ist. 55
9. Sensorkabel nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das beschichtete Stahlband eine Riffelung besitzt und die Stahlband-Beschichtung aus Kunststoff besteht. 60

65

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

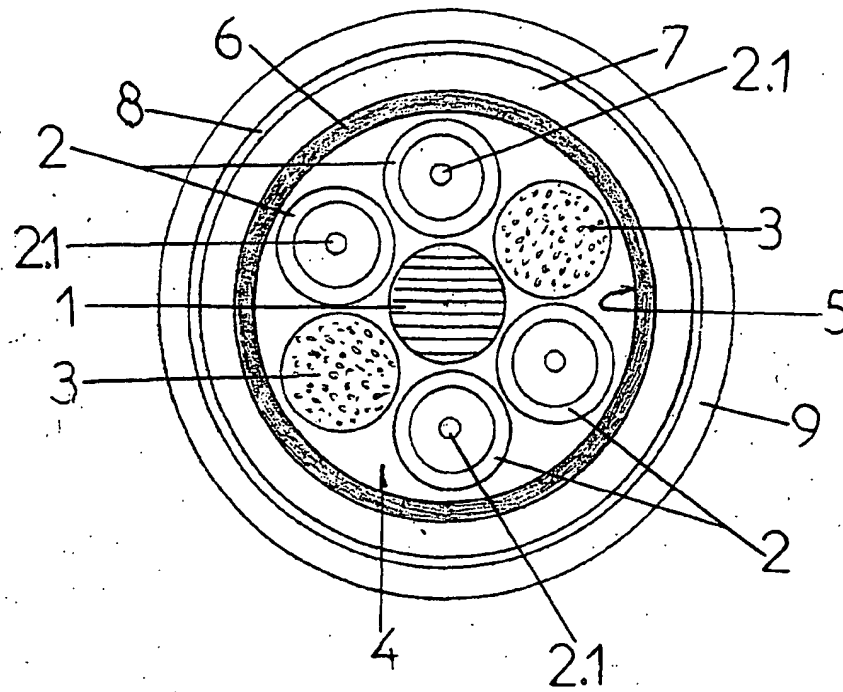


Fig. 1

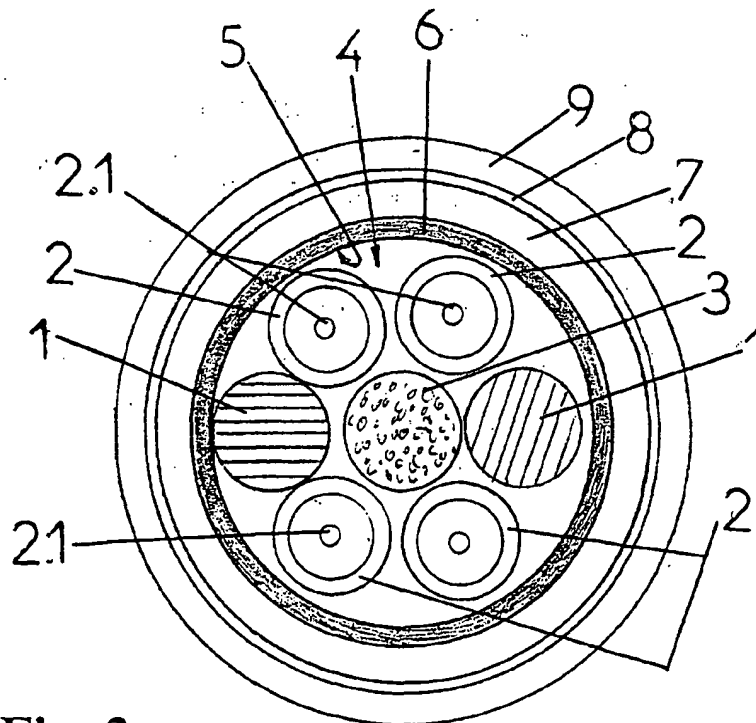


Fig. 2